

## WASSERBLÜTE UND FISCHSTERBEN

Von

R. VÁMOS, \* J. ZSOLT\* und M. RIBIÁNSZKY\*\*

\* Pflanzenphysiologisches Institut der Universität Szeged, Ungarn  
(Dir.: Prof. Dr. I. Szalai)

\*\*Forschungsinstitut für Kleintierzucht, Gödöllő

Im Sommer ist die Oberfläche von Teichen und Seen häufig von einer dichten Algen-schicht überzogen, dies ist die sog. Wasserblüte. Die Wasserblüte ist in den Fischteichen eine ungern gesehene Erscheinung, da sie nicht selten von einer mehr oder minder intensiven Fischsterben gefolgt ist. Schon früher hat man diese beiden Erscheinungen miteinander in Beziehung gebracht und mancherseits ging man so weit, die Wasserblüte selbst als Ursache für den Untergang der Fische zu betrachten und durch Vernichtung der Algen dem Fischsterben vorzubeugen bzw. den bereits eingetretenen Untergang zum Stillstand zu bringen. Zwecks Ausrottung der Algen wird meistens gebrannter Kalk ins Wasser gestreut. Diesbezüglich hat sich die Ansicht verbreitet, dass die Kalkbehandlung bis zu einem gewissen Grade zweifellos die Reinigung des Wassers begünstigt, dem schon eingetretenen Fischsterben aber nicht Einhalt zu bieten vermag. Die Erfahrung deutet darauf hin, dass Wasserblüte und Fischsterben nicht in direktem ursächlichem Zusammenhang miteinander stehen, sondern die Erklärung für die Korrelation in einem grösseren Erscheinungskomplex zu suchen ist.

Der Zusammenhang der beiden Erscheinungen wird auch durch eigene Erfahrungen unterstützt. Wir stellten fest, dass jedem sommerlichen Fischsterben eine Wasserblüte vorausgeht, aber nicht jede Wasserblüte von einer Fischvernichtung gefolgt ist.

Die eine Aufgabe zur Lösung des zusammengesetzten Problems ist die Beleuchtung des die Wasserblüte auslösenden Prozesses oder seiner unmittelbaren Ursache und den zweiten Fragenkomplex stellt die Klärung der Rolle der die Erscheinung begünstigenden Faktoren dar.

Hinsichtlich der ersten Frage musste also in Erfahrung gebracht werden, welche Kraft oder Wirkung das Aufwärtssteigen der Algen veranlasst. Nach RUTTNER (1952) kann das Schweben dieser Mikroorganismen als ein allmähliches Sinken aufgefasst werden, dem teils die im Verhältnis zu ihrer Menge relativ grosse Oberfläche der Planktonorganismen, bisweilen die das spezifische Gewicht der Organismen herabsetzenden Ölassimilate, sowie die Anwesenheit der Gasvakuolen, insbesondere aber die im Wasser in mehr oder minder grosser Menge stets vorhandenen Bewegungen (Wellenbewegungen, Konvektionsströmungen und turbulente Wasserbewegungen) entgegenwirken. Bisher war aber noch immer nicht die Frage hinreichend geklärt, auf welche Impulse hin die Algen zuweilen plötzlich und massenhaft aufwärts, in die oberflächlichen Wasserschichten hinaufstreben.

Unter den in die zweite Gruppe gehörenden, sog. begünstigenden Faktoren spricht KISS (1959) den zyklonal-depressiven Witterungszuständen eine besondere Bedeutung zu. Nach seiner Meinung kommen die Massenproduktionen im Falle entsprechenden Nährstoffverhältnisse in den Witterungsumschlag hervorruhenden Depressionsphasen manchmal mit explosiver Unvermitteltheit zustande. Die Rolle der meteorologischen Faktoren steht ausser Zweifel.

Nachdem erfahrungsgemäss im Anschluss an eine Wasserblüte nicht nur die Algen, sondern auch alle anderen Lebewesen zugrunde gehen können, ist es offensichtlich, dass hierbei in den Teichen bzw. Seen allgemein-toxische Vorgänge mit am Werke sind. Zur Klärung des ursächlichen Zusammenhanges zwischen diesen Vergiftungsprozessen und der Wasserblüte haben wir Beobachtungsdaten gesammelt, Untersuchungen und Experimente vorgenommen, deren Ergebnisse im folgenden zusammengefasst sind.

## Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurde der Schlamm und das Wasser der auf Torfboden befindlichen Teiche der Fischwirtschaft von Nord-Somogy und Tata, der auf Natron-haltigen Boden (Szik) befindlichen Fischteiche bei Szeged und der über Torfboden befindlichen Fischteiche von Kelebia verwendet. Aufgearbeitet wurden auch unsere im Teich von Algyó und den in sauren Boden der Umgebung von Szeged geschnittenen Toten Tiszaarmen gemachten eigenen Beobachtungen und die bei der Beschreibung unserer eigenen Untersuchungen mitgeteilten Daten, sowie die vieljährigen Beobachtungen an überschwemmten Reisfeldern mit verwertet.

Die Untersuchungen des Schlammes und Wassers der angeführten Seen wurden nach den Verfahren des Methodenbuches zur Bodenuntersuchung von BALLENEGGER bzw. nach den MAUCHASCHEN Methoden vorgenommen, der Nachweis der Sulfatreduzierenden Bakterien erfolgte in flüssigen Kulturen auf STARKEYSchen Nährboden.

## Ergebnisse und Besprechung

Der eine von uns hat sich annähernd ein Jahrzehnt mit Untersuchungen über der Krankheitserreger der Reisbräune, der sog. Bruzone (Brandt-) Krankheit und den diese begünstigenden Faktoren beschäftigt (VÁMOS, 1959). Den wesentlichen Teil dieser Forschungsarbeit stellte die Beleuchtung der im Schlamm und im Überschwemmungswasser vor sich gehenden biotischen und abiotischen Vorgänge dar. Da wir in den letzten Jahren diese Untersuchungen auch auf die von einer grossen Fischsterben heimgesuchten Fischteiche ausgedehnt hatten, hat sich eine interessante Korrelation zwischen Auftreten und Verlauf der beiden Schädigungen und der Rolle ihrer begünstigenden Faktoren ergeben.

Diese Ähnlichkeiten sind:

Sowohl die Reisbräune, als auch das massenhafte Fischsterben tritt nur in den toten Tiszaarmen und in den Fischteichen auf saurem Torfboden bzw. auf den von der Tisza und ihren Nebenflüssen abgelagerten sauren und ähnlich schweren Böden befindlichen Reisplantagen in Erscheinung.

In den Toten Armen der Donau (Duna) ist die massenhafte Fischvernichtung unbekannt, ebenso auch die Bruzone auf dem vom Geschiebe der Donau gebildeten Reisfeldern, und zwar selbst auch dann, wenn in dem Bewässerungssystem der nahen Tisza die Schäden katastrophale Ausmasse annehmen.

Eine gemeinsame Eigenschaft des Bodens und Wassers der für die Schädigungen prädestinierten Fischteiche und Reisfelder ist ihr grosser Reichtum an Nährstoffen, sie sind daher bei günstiger Witterung sehr fruchtbar und ertragreich.

Beide Schädigungen sind durch die gleichen klimatischen Faktoren: rasche Abkühlung und Luftdrucksenkung begünstigt; eine bedeutende Rolle kann auch der Lichtmangel einnehmen.

Beide Schädigungen sind schnell, sozusagen binnen Stunden, vorüber.

Das Auftreten, der Verlauf und die nicht-infektiöse Natur der Schädigungen weisen darauf hin, dass sie nicht durch irgendwelche infizierende Bakterien oder Pilze, sondern durch toxische Stoffe verursacht sind, die den Schlamm und das



Wasser — wenn auch nur für kurze Zeit — in einem Grade sättigen, der ausreicht, um Vergiftung zu bewirken.

Vor dem Auftreten des Schadens sind die Algen hochgradig vermehrt und an der Wasseroberfläche massenhaft angereichert (Wasserblüte), um dann — vernichtet — zu Boden zu sinken, worauf das Wasser sich völlig aufklärt. BRIZI stellte zu Beginn des Jahrhunderts (1905) bereits fest, dass aus dem Wasser der Bruzone-geschädigten Reisfelder die Algen verschwinden. Auch unsere Versuche und Untersuchungen haben feststellen lassen, dass nach dem Abklingen der Bruzone und des Fischsterbens die Algen plötzlich verschwinden und das Wasser vollkommen klar wird.

Sowohl im Schlamm der von der Bruzone bedrohten Reisparzellen als auch in dem der gefährdeten Fischteiche sind alle Bedingungen für eine intensive Sulfatreduktion gegeben. In beiden Fällen ergaben die Forschungen als unmittelbare schädigende Ursache die toxische Wirkung des Schwefelwasserstoffes.

Im folgenden wollen wir die die Bildung, die Anreicherung und die Giftwirkung des Schwefelwasserstoffes begünstigenden Faktoren kurz erörtern

### Die Bildung des Schwefelwasserstoffes

Eigenen und von anderen Autoren mitgeteilten mikrobiologischen und chemischen Untersuchungen zufolge sind im Schlamm der einer Wasserblüte und Fischsterben zugänglichen Seen bzw. Teiche beträchtliche Mengen Eisensulfids, und in dem die durch Schlammgase gebildeten Hohlräume, die sogenannten Schlammzellen, ausfüllenden Wasser reichlich Schwefelwasserstoff angereichert. Die in den untersuchten Schlammproben gefundenen Sulfidmengen veranschaulicht Tabelle 1, die Höhe der eisensulfidhaltigen schwarzen Schlamm-schicht ist in Tabelle 2 angeführt. Wie wir schon in einer früheren Arbeit berichteten, entsteht der Schwefelwasserstoff im Schlamm nicht so sehr als Folge der Eiweiszersetzung, sondern ist eher das Ergebnis der Tätigkeit der sulfatreduzierenden Bakterien. Somit wird — wie aus Tabelle 1 ersichtlich — bei Anwesenheit der Überreste der unter anaëroben Bedingungen zum Abbau gelan-

Tabelle 1. Sulphidgehalt im Schlamm der Teiche

| Nr | Name des Teiches         | S — mg/100 g |
|----|--------------------------|--------------|
| 1. | Algyői tó                | 7,0          |
| 2. | Grébicsi tó (Tata)       | 7,0—61,5     |
| 3. | Öreg tó (Tata)           | 0,0— 3,5     |
| 4. | Gyálai Tisza (Toter Arm) | 1,0— 9,5     |
| 5. | Atkai Tisza (Toter Arm)  | 4,5—37,5     |
| 6. | Fehértó (Szeged)         | 0,5— 2,0     |

Die Ursache der grossen Variation im Sulphidgehalt ist im Unterschied im organischen Stoffgehalt an verschiedenen Plätzen in ein und demselben Teich zu suchen.

Tabelle 2. Dicke der reduzierten Schlammsschichten

| Nr | Name des Teiches         | cm   |
|----|--------------------------|------|
| 1. | Algyői tó                | 4,0  |
| 2. | Grébicsi tó (Tata)       | 20,0 |
| 3. | Öreg tó (Tata)           | 2,0  |
| 4. | Gyalai Tisza (Toter Arm) | 11,0 |
| 5. | Atkai Tisza (Toter Arm)  | 16,0 |
| 6. | Fehértó (Szeged)         | 5,0  |

genden zellulosehaltigen Pflanzen ein Mehrfaches an Schwefelwasserstoff gebildet. Der ins Wasser gelangende Schwefelwasserstoff, tritt — solange das Wasser gelöstes Eisen enthält — mit diesem zu Ferrosulfid zusammen und lässt sich als schwarzer Niederschlag am Grunde des Wassers nieder. Die Höhe der ferrosulfidhaltigen Schlammsschicht hängt also von der Menge der vorhandenen organischen Substanzen ab, denn die Gärung der Zellulose liefert den Wasserstoff für jene reduktiven Prozesse, als deren Ergebniss das Sulfation zu Schwefelwasserstoff, das Phosphation zu Phosphorwasserstoff und das Nitration zu Stickstoff, bzw. zu Ammoniak reduziert werden kann. Enthält die über dem Schlamm befindliche Wasserschicht Sauerstoff, so wird das Ferrosulfid in einigen mm Höhe oxydiert und der Boden des Sees nimmt rostbraune Farbe an. Ist die Schlammsschicht aber von schwarzer Farbe, so lässt dies darauf schliessen, dass das mit der Schlammsschicht in Berührung stehende Wasser keinen absorbierten Sauerstoff enthält, welcher das Ferrosulfid zu Ferrioxhydroxyd umwandeln könnte. Hier hebt sich die sauerstoffhaltige (aërobe) und die luftfreie (anaërobe) Schicht voneinander trennende, sog. Redoxschicht aus dem Schlamm ins Wasser empor. Somit lässt die Farbe des Teichbodens gewisse Schlüsse auf die Sauerstoffversorgung des Bodenwassers zu, d. h. eine schwarze oder rostbraune Farbe gibt unmittelbar Aufschluss über die dort herrschenden aëroben oder anaëroben Zustände, über die sich dort abspielenden oxydativen oder reduktiven Prozesse. Unter aëroben Verhältnissen ist die Möglichkeit gegeben, dass der aus dem Schlamm freigesetzte Schwefelwasserstoff durch Vereinigung mit dem im Wasser absorbierten Sauerstoff in unschädlichen molekulären Schwefel und dann in Sulfat umgewandelt werde. Wenn auch der Schwefelwasserstoff vornehmlich aus dem sulfidhaltigen Schlamm frei werden kann, besteht doch auch eine Möglichkeit zu seiner Bildung unmittelbar im Wasser. Herrscht in den unteren Wasserschichten ein anaërober Zustand, so kann die Sulfatreduktion auch dort stattfinden. Der ins Wasser gelangende molekuläre Wasserstoff ist einer der Hauptfaktoren der intensiven Tätigkeit der sulfatreduzierenden Bakterien. In der Wasserstoffbildung können ausser der Butter säuregärung und den Coli-Bakterien (*Escherichia coli*) unter anaëroben Verhältnissen auch die Algen teilnehmen. Als Ergebnis der Sulfatreduktion wird der Sulfationen-Gehalt des Wassers bedeutend herabgesetzt (Abb. 1). Über die verschiedenen reduktiven Zustände des wasserbedeckten Bodens, über den Zusammenhang zwischen pH, Eh und  $Fe^{++}$ -Konzentration orientieren die Unter-



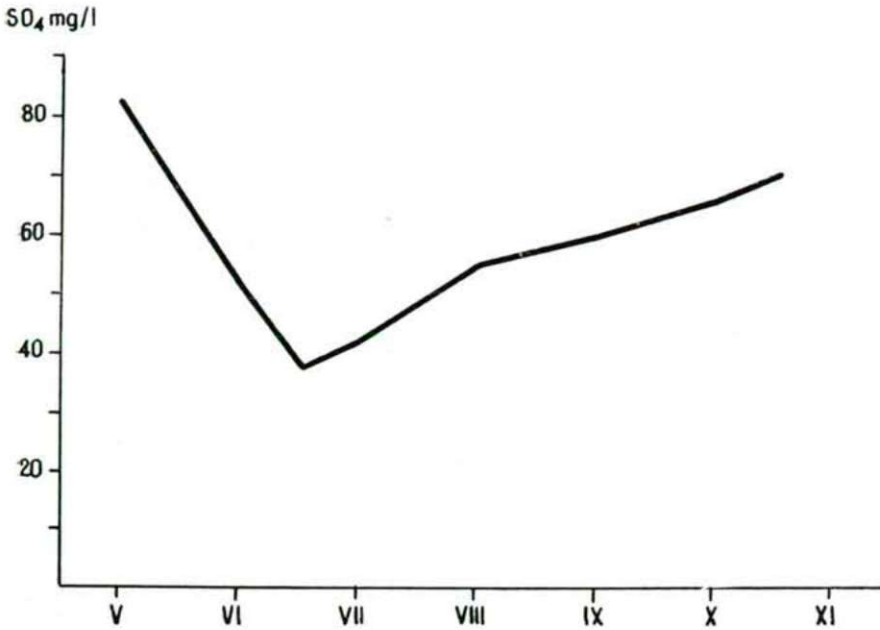


Abbildung 1. Veränderungen des Sulphatgehaltes im Algyői tó (1960)

suchungen von JEFFERY, (1961). Die Redoxverhältnisse in einem torfhaltigen Teiche sind in Abbildung 2. schematisch wiedergegeben.

Im Wasser und Schlamm der Teiche werden also reichliche Mengen Schwefelwasserstoffes gebildet und in Gestalt von Ferrosulfid angereichert. Ein weiteres Problem ist die Frage, auf welche Weise die rapide Sättigung des Wassers mit Schwefelwasserstoff zustande kommt. Nach unseren Beobachtungen dürften hier in erster Linie Witterungsfaktoren eine Rolle spielen.

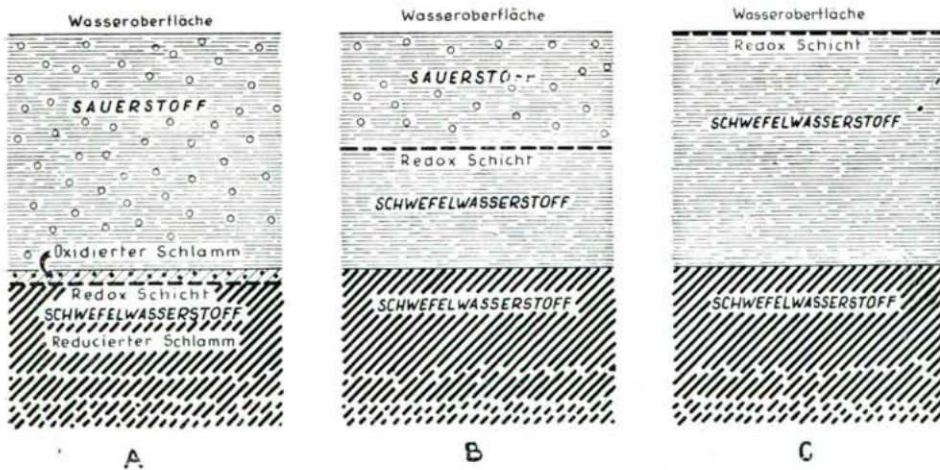
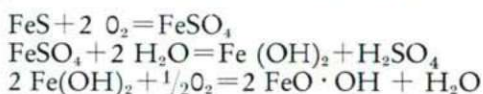


Abbildung 2. Veränderungen der Redoxverhältnisse in einem torfhaltigen Teich (schematisch)  
 A = Frühling      B = Hochsommer      C = bei Fischsterben

## Der Einfluss exogener Faktoren auf die Schwefelwasserstoffbildung

### a) Die Rolle der Temperatur

Nach unseren bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen während der Jahre 1958–1962 geht der Wasserblüte und dem Fischverderb eine anhaltend warme, trockene Witterung voraus. Infolge der hochgradigen Verdampfung und des Niederschlagsmangels geht der Wasserstand der Teiche stark zurück. Bei der grossen Wärme und dem Reichtum an mineralischen Nährstoffen gelangen die Algen stark zur Vermehrung und färben das Wasser dunkelgrün. Das warme Wetter bietet aber auch den aeroben Bakterien, die in der oberen Schlammschicht befindlichen Pflanzenreste, sowie die festen und gelösten organischen Stoffe des Wassers verwerten, optimale Lebensbedingungen. Die unter solchen Umständen in eine Phase der logarithmischen Vermehrung geratenden Bakterien brauchen den in Bodenwasser gelösten Sauerstoff restlos auf und so hebt sich in dem hier entstandenen Milieu die schon erwähnte, die luftfreie und die lufthaltige Schicht voneinander trennende imaginäre Fläche, das Redoxniveau, aufwärts, der Wasseroberfläche entgegen, d. h. zu dieser Zeit ist der Boden des Teiches schwarz. Dies konnten wir im Sommer 1961 im Falle des Grebicser Teiches der Fischwirtschaft in Tata, im See Nr. VIII bei Irma-Pusztá und im Algyőer Teich feststellen. Dieser Zustand ist aber nur ein vorübergehender. Tritt nach der anhaltenden grossen Wärme plötzlich Abkühlung ein, so steigt der Sauerstoffgehalt der die Lufttemperatur schneller übernehmenden, abkühlenden Wasserschicht an. Der zunehmende Sauerstoffgehalt presst die Redoxlage abwärts, worauf die bisher anaerobe, im reduktiven Zustand befindliche Schicht — inklusive die obere Schlammschicht — aerob wird und hier in Gegenwart des Sauerstoffs relativ rasch abiotische oxydative Prozesse einsetzen, deren wesentlichster die Ferrosulfidumwandlung ist:

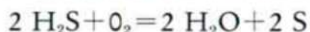


Die so entstandene Schwefelsäure setzt aus dem noch nicht oxydierten Ferrosulfid Schwefelwasserstoff frei:



In der Schwefelwasserstofffreisetzung können auch die im Laufe der Gärung der zellulosehaltigen Stoffe sich bildenden organischen Säuren: Essig-, Milch- und Buttersäure teilnehmen (KÖVES—VAMOS, 1959). Diese organischen Säuren wurden papierchromatographisch isoliert und nachgewiesen.

Solange das Bodenwasser sauerstoffgesättigt ist, ist der frisch gebildete Schwefelwasserstoff einer Oxydation zugänglich und als Ergebnis hiervon kann molekularer Schwefel ausscheiden:



Der ausscheidende Schwefel macht das Wasser opaleszierend, was sich am Boden des Teiches in Gestalt eines langsam sich ausbreitenden gelbfarbigen Schleiers bemerkbar macht. Diese Erscheinung kann auch im Winter eintreten, und wenn der See dann zufriert, sticht das vom Schwefel gelb gefärbte Eis von den übrigen Eispartien ab. Der Verbrauch des zur Oxydation des Schwefel-

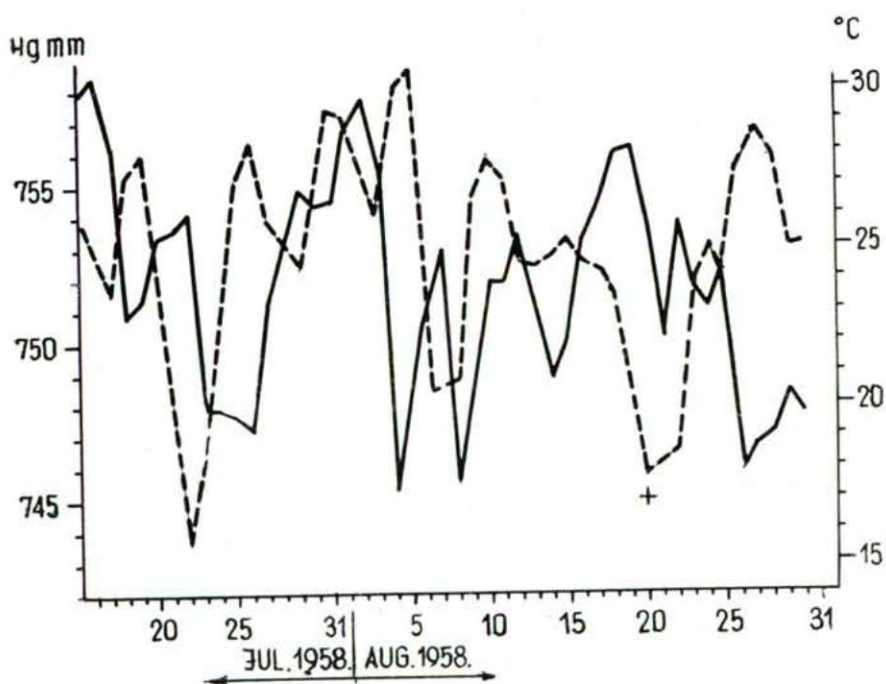
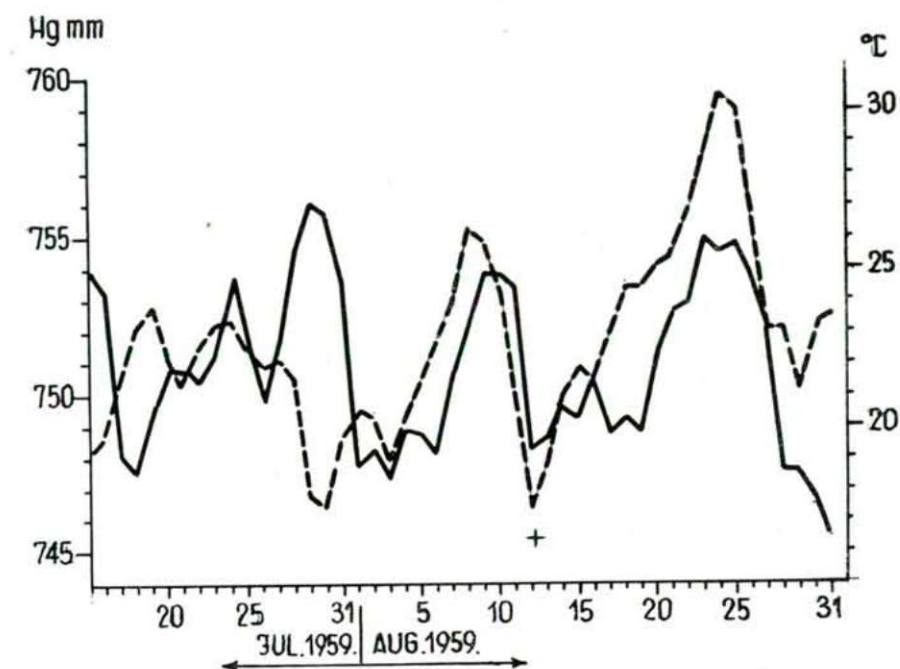


Abbildung 3. Temperatur- und Luftdruckverhältnisse in Szeged in 1958 und 1959

— = Luftdruck  
 - - - = Temperatur  
 + = Fischsterben



wasserstoffes nötigen Sauerstoffes trägt wesentlich zur Entstehung des Sauerstoffmangels bei. Der fein verteilte Schwefel wird — allerdings langsam — aber allmählich doch ebenfalls zu Schwefelsäure oxydiert.

### *b) Die Rolle der Luftdrucksenkung*

Die bereits mitgeteilten Beobachtungen wurden durch weitere ergänzt um zu beweisen, dass in der Hervorrufung dieser Erscheinung auch die Luftdruckveränderungen einen wichtigen Faktor darstellen. Wir haben wiederholt beobachtet, dass bei Luftdruckverminderung die im Schlamm befindlichen Gase, unter ihnen der Schwefelwasserstoff, in die Wasserschicht, und von da eventuell gar in die Luft gelangen können. Den im Sommer 1961 stattgehabten Fischsterben waren ebenfalls in jedem Falle Luftdruckerniedrigungen vorausgegangen, und dabei war der Geruch des Schwefelwasserstoffes in der Umgebung der Fischteiche spürbar geworden. Die Luftdruckverhältnisse z. Z. des Fischsterbens im August der Jahre 1958 und 1959 veranschaulicht Abbildung 3.

### *c) Die Rolle des Lichtes*

Der durch die Assimilation der Algen gebildete Sauerstoff spielt in der Sauerstoffversorgung der Fische eine wichtige Rolle. Die Sauerstoffproduktion hängt jedoch auf das engste mit der Lichtverhältnissen zusammen. Nachts pausiert die Sauerstoffproduktion und die vermehrte Algenpopulation wird zum Sauerstoffkonsumenten. Die im Dunkeln eventuell durch geringe Mengen Schwefelwasserstoff aktivierte Atmung kann in den Teichen einen Sauerstoffmangel herbeiführen. Der so zustande kommende Sauerstoffmangel steht im geraden Verhältnis zu der vorhandenen Algenmenge. Er pflegt in den frühen Morgenstunden, vor Sonnenaufgang in Erscheinung zu treten. Zu dieser Zeit kommen die Fische massenhaft an die Wasseroberfläche, um Luft zu schnappen, sie kämpfen gegen den Sauerstoffmangel an, wobei sie nicht einmal das herannahende Boot stören kann. Nach Sonnenaufgang, wenn die einsetzende Assimilation immer mehr Sauerstoff erzeugt, ziehen die Fische sich wieder vom Wasserspiegel zurück in die Tiefe.

Während der Wasserblüte verhindert die an der Oberfläche des Wassers entstandene, von Algenfäden durchwobene Algendecke das Eindringen des Lichtes in sehr beträchtlicher Masse, daher wird der untere Teil der oberflächlichen Algenschicht chlorotisch. Hieraus wird verständlich, dass die vom Licht abgeschlossenen Algen mit ihrer lebhaften Atmung wesentlich zu dem auch von uns festgestellten Sauerstoffmangel beitragen (Kelebia, 1961).

## **Fischsterben und Schwefelwasserstoff**

Seine toxische Wirkung entfaltet der Schwefelwasserstoff durch Inaktivierung der Schwermetalle enthaltenden Enzyme.

In wässriger Lösung verändert sich nämlich — in Abhängigkeit vom pH — das Verhältnis des freien Schwefelwasserstoffes und der SH-Ionen zueinander:



im sauren Medium ist der freie Schwefelwasserstoff, und im alkalischen die SH-Ionen im Überschuss. Der freie Schwefelwasserstoff ist weitaus toxischer und vermag die Schleimhäute viel schneller (etwa 100 mal so schnell) zu passieren, als der Sauerstoff.

Der eine Faktor im Zustandekommen der Vergiftung ist die bereits erwähnte Bindung des im Atmungsferment befindlichen Eisens. Ferner ist auch die auf die Schleimhäute entfaltete irritierende, Histamin freisetzende, und dadurch lokale und allgemeine Symptome auslösende Wirkung nicht ausser Acht zu lassen.

Nach DONÁSZY (1961) darf in Produktionsteichen der Gehalt des Wassers an Sulfid-Ionen 0,24 mg/l nicht überschreiten und das Wasser der Laich- und Überwinterungsteiche muss frei von solchen sein.

Wir stellten fest, dass die Vergiftungssymptome, die nach Zugabe von  $\text{Na}_2\text{S}$  zu dem Wasser der Aquarien zu beobachten sind, denen in den Fischteichen völlig gleich sind. Die Kiemen zeigen violettrote Verfärbung. Blutige Infiltration ist nur zu beobachten, falls der Schwefelwasserstoff — wenn auch nur in geringen Mengen — (etwa 0,5 mg/l) — längere Zeit, d. h. mehrere Tage hindurch, zur Wirkung gelangt.

Auf Grund unserer in Aquarien an verschiedenen Fischarten vorgenommenen Vergiftungsversuche haben wir die Symptome des Vergiftungsprozesses und die Empfindlichkeit der verschiedenen Fischarten gegenüber Schwefelwasserstoff studiert.

Während des einen Experimentes gingen in dem 10 mg/l Sulfidionen enthaltenden Wasser die Fische binnen vier Stunden in der folgenden Reihenfolge zugrunde: Weissfisch, Hecht, Zwergwels, Karpfen, Schleie, Karausche. Die gleiche Empfindlichkeitsreihenfolge konnten auch die Fischer an den Teichen feststellen. Im Jahre 1959 haben wir in dem einen toten Tiszaarm (bei Gyála) eine Fischsterben beobachtet, der nur die Weissfische zum Opfer fielen. In diesem Falle dürfte der Schwefelwasserstoff nur den für die Weissfische gefährlichen Toxizitätsgrad erreicht haben.

Die Freisetzung des Schwefelwasserstoffes, setzt von den seichteren Wasserschichten, d. h. vom Ufer her, ein. Wir fanden, dass das Sulfid zeitlich zuerst in der Uferzone aus dem Schlamm verschwindet. Es ist verständlich, dass die aerobe Verhältnisse beanspruchenden oxydativen Prozesse hier früher einsetzen als in den tieferen Wasserschichten, wo auch die organischen Stoffe in geringerer Menge vorhanden sind. Weiter konnten wir feststellen, dass an der Uferzone — teils infolge von Oxydationsprozessen, teils als Ergebnis des Entweichens in die Luft — die Schwefelwasserstoffmenge schon nachlässt, wenn sie in den weiter vom Ufer entfernten Wasserregionen noch im Anstieg begriffen ist. Es ist anzunehmen, dass bei der Schwefelwasserstoff-Freisetzung die Fische die verschiedenen Konzentrationen wahrzunehmen vermögen und, wenn die toxische Wirkung kulminiert, in die sauerstoffreicheren Uferzonen flüchten und sich aufs Trockene werfen (Irma-Pusztai, Grebicszer Teich, 1961).

### Wasserblüte und Schwefelwasserstoff

Die eine Voraussetzung für die Wasserblüte ist die massenhafte Vermehrung der Algen. Hierfür ist in den seichten, eutrophen Gewässern mit ihrem Reichtum an gelösten mineralischen Nährstoffen und ihrer starken Durchwärmung in der Sommerhitze jede Möglichkeit gegeben.

Ein besonderes Problem ist aber das Emporsteigen der in dem seichten Wasser sonst annähernd gleichmässig verteilten Algenmassen an die Wasseroberfläche. In Ermangelung einer aktiven Bewegung, die einem beträchtlichen Teil der Algen abgeht, ist dieses Aufsteigen nur unter Verminderung des spezifischen Gewichtes möglich. Die eine Möglichkeit für ein Geringerwerden des spezifischen Gewichtes ist die quantitative Verminderung der intrazellulären Assimilate. Diese kann infolge einer Geschwindigkeitsherabsetzung der photosynthetischen Prozesse oder durch Beschleunigung der Veratmung der Assimilate — bzw. auf die gleichzeitige Wirkung beider — zustande kommen. Auch ist hier an die bei den Blaualgen (*Cyanophyta*) seit langem bekannte, das spezifische Gewicht vermindernde Wirkung der Gasbläschen zu denken.

Bezüglich der Bildung der Gasvakuolen nimmt man in der Literatur an, dass sie unter anaeroben Verhältnissen in den Zellen an den Stellen der Cyanophycingranula erscheinen (CANNABAEUS, 1929).

In der sog. „Eigenbewegung“ der Algen nach oben spielt also die Lokalisation des Redoxniveaus eine Rolle. In der langsam, aber kontinuierlich sinkenden Algenzelle bilden sich nämlich, wenn sie unter das Redox-Niveau gerät, Gasvakuolen, ihr spezifisches Gewicht nimmt ab und sie steigen aufwärts, wo angesichts des reichlicheren Lichtes und Sauerstoffes die synthetischen Prozesse ungestört vor sich gehen können.

Der Schwefelwasserstoff hemmt die Atmung, weil er die Aktivierung des auf Elektronenaustausch beruhenden atmosphärischen Sauerstoffs verhindert. Da die synthetischen Prozesse in enger Beziehung zu der Atmung stehen, behindert er auch die Assimilation. Es ist aber auch bekannt, dass die atmungslähmenden Gifte in hohen Verdünnungen die Atmung nicht hemmen, sondern — im Gegenteil — steigern. Bei dieser gesteigerten Atmung nimmt der Zellgehalt ständig ab, das spezifische Gewicht wird geringer und die Zellen steigen empor.

Somit vermag der Schwefelwasserstoff das Auftreten von Gasvakuolen zu begünstigen.

Zum Beweise der Richtigkeit dieser Annahme haben wir Laboratoriumsversuche mit aus dem Grebics-Teich der Fischwirtschaft in Tata stammenden, zum überwiegenden Teil aus Blaualgen bestehenden Algenmassen angestellt. In Leitungswasser gegeben, lassen sie sich — locker verteilt — im unteren Teile des Gefässes nieder. Wird nun dem Wasser eine Natriumsulfidlösung hinzugefügt, die eine Sulfidionen-Endkonzentration ungefähr 10–12 mg/l bewirkt, so steigt die Algenmasse in dem etwa 20° C warmen Wasser binnen ungefähr 20 Stunden an die Oberfläche empor. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass in den ursprünglich Gasvakuolen nicht enthaltenden Zellen — gleichzeitig mit dem Aufwärtssteigen — Gasbläschen erscheinen. Versetzen des Wassers mit konzentrierteren Sulfidlösungen (20 mg/l) verursacht das Zugrundegehen der Algenzellen, ohne dass diese sich an die Wasseroberfläche begeben hätten. In diesem Falle fördert die mikroskopische Unter-



suchung auch keine Gasvakuolen zutage. Das Ausmass der die Gasblasenbildung einleitenden Schwefelwasserstoffkonzentration kann weitgehend von der chemischen Zusammensetzung des Wassers und der Mikroflora beeinflusst sein.

Die nach dem Abklingen der Massenproduktion vorgenommenen Wasseranalysen zeigten, dass der Ammonium- und Phosphorgehalt vermehrt ist. Der Anstieg des Ammoniakgehaltes lässt sich mit der Desamination des Eiweissbestandes der Algen erklären. In der ständigen Hitze kann nämlich — hauptsächlich infolge der Sulfatreduktion — der pH-Wert des Wassers auf etwa 9,0 steigen. Die hohe Wasserstoffionenkonzentration an sich bewirkt noch keine Schädigung der Fische, wenn aber das Wasser 3–5 mg/l Ammoniumionen enthält, so kann das infolge ihrer Dissoziation entstehende Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) bereits toxisch werden (SCHÄPERCLAUS, 1954, DONÁSZY, 1961).

### Praktische Schlussfolgerungen

Auf Grund der obigen Feststellungen kann die Möglichkeit einer bevorstehenden Schädigung durch massenhafte Fischvernichtung vorausgesehen bzw. gemeldet und dem Schaden durch rechtzeitiges Eingreifen vorgebeugt werden.

In unserer eigenen Praxis gelang es — in Kenntnis des Zustandes der Fischteiche und der meteorologischen Prognose — die Teichwirtschaft von Szeged beizeiten auf die in der Kelebianischen Einheit zu erwartende Fischvernichtung aufmerksam zu machen; die alarmierte Station vermochte Vorbereitungen zu treffen und den Fischbestand noch vor Eintritt der Katastrophe auszuheben.

### Zusammenfassung

Die Fachleute der Fischzüchtereien waren auf den Zusammenhang zwischen der rapid verlaufenden Fischvernichtung und der Wasserblüte schon seit langem aufmerksam geworden.

Als Ergebnis der mikrobiologischen Vorgänge kommt es am Grunde der auf saurem Boden befindlichen Fischteiche zur Anreicherung sulfidhaltigen Schlammes. Infolge von Temperatur- und Luftdruckerniedrigung wird aus der Schlammsschicht Schwefelwasserstoff freigesetzt. Die anfangs niedrige  $\text{H}_2\text{S}$ -Konzentration regt die Algen zu gesteigerter Atmung an. Die Assimilation hört auf oder ist auf ein Minimum reduziert. In den Zellen der Blaualgen bilden sich Gasvakuolen. Infolge der gesteigerten Dissimilation und der Gasvakuolen nimmt das spezifische Gewicht der Algen ab, sie steigen aufwärts und bilden an der Wasseroberfläche einen zusammenhängenden Belag. Dies ist die Wasserblüte. Dem Schwefelwasserstoff fallen immer mehr Algen zum Opfer und die diese zersetzenden aeroben Bakterien kommen in aussergewöhnlich hohem Masse zur Vermehrung. Die noch lebende und gesteigert atmende Algenschicht und Milliarden aerober Bakterien, sowie auch die in grösserer Zahl erscheinenden Schwefelbakterien bilden an der Wasseroberfläche eine zusammenhängende Filterschicht, die in Anbetracht ihres hohen Sauerstoffverbrauches das Eindringen des Sauerstoffes ins Wasser verhindert.

Nachdem die Sauerstoffproduktion der Algen ausbleibt und das Eindringen des atmosphärischen Sauerstoffes behindert ist, kommt es im Wasser zu einem hochgradigen Sauerstoffmangel. Die Schwefelwasserstoffkonzentration nimmt toxische Ausmasse an. Der vermehrte Schwefelwasserstoffgehalt bringt alle lebenden Organismen zu Tode, in deren Stoffwechsel eisenhaltige Enzyme eine Rolle spielen und die einer Flucht unfähig sind. Schliesslich wird das Wasser vollkommen klar und durchsichtig; dies ist die Selbstreinigung der Seen.

Dies ist der eine Typ der Entstehung und des Ablaufes der Wasserblüte. Eine Wasserblüte kann auch unter anderen Bedingungen zustande kommen, namentlich im Bereiche der Grünalgen und Geisselalgen. Die in der vorliegenden Arbeit erörterten Untersuchungen und Feststellungen beziehen sich auf die durch gasvakuolenhaltige Blaualgen verursachte Wasserblüte.

### Literatur

- (1) BALLENEGGER, R.: (Methodenbuch für Bodenuntersuchung.) Talajvizsgáló módszerek. (Ungarisch) Mezőgazdasági Kiadó. Budapest (1953).
- (2) BRIZI, M.: Annuario. Inst. Agrario. Milano 107—174 (1905).
- (3) CANNABAEUS, L.: Über die Heterocysten und Gasvakuolen und ihre Beziehungen zueinander. Pflanzenforsch. 13 (1929).
- (4) DONÁSZY, E.: (Qualifizierung unserer Fischteiche.) Tógazdasági halastavaink minősítése. (Ungarisch) OMMI Évkönyv 5. 183—192 (1961).
- (5) JACZÓ, I.: (Krankheiten und Feinde der Fische im Teichwirtschaft.) A tógazdasági halak betegségei és ellenségei. In Donászy, E. (Redaktor): (Teichwirtschaftliche Fischzucht im Praxis.) Tógazdasági haltenyésztés a gyakorlatban. (Ungarisch) Mezőgazdasági Kiadó. Budapest (1954).
- (6) JEFFERY, J. W. O.: Defining the state of reduction of a paddy soil. Journ. Soil. Sci. 12 172—179 (1961).
- (7) KISS, I.: (Meteorobiologische Untersuchungen an Wasserblüte und Schneleblüte.) Meteorobiologische Untersuchungen an mikroservizetok víz- és hóvirágzásában. (Ungarisch) MTA Biológiai és Agrártudományi Oszt. Közleményei 2 53—100 (1951).
- (8) KISS, I.: Synoptische meteorobiologische Analyse der Massenproduktion einiger pflanzlichen Mikroorganismen. Acta Biol. Hung. 9 317—342 (1959).
- (9) KÖVES, E.—VÁMOS, R.: (Die Rolle der Wasserstoffgärung in Sulfatreduktion.) Hidrogén erjedés szerepe a szulfátredukción. (Ungarisch) II. Magyar Mikrobiológiai Kongresszus. Összefoglalások 8 (1959).
- (10) MAUCHA, R.: (Verwendung die Wasseruntersuchungsmethoden von L. Winkler in der Limnologie.) Winkler Lajos vízvizsgáló módszereinek alkalmazása a limnológiában. Orsz. Halászati Egyesület. Budapest (1930).
- (11) RUTTNER, F.: Grundriss der Limnologie. Gruyter et Co. Berlin (1952).
- (12) SCHÄPERCLAUS, W.: Fischkrankheiten. 3. Auflage. Akademie Verlag. Berlin (1954).
- (13) VÁMOS, R.: (Rolle der H<sub>2</sub>S-Bildung und der klimatischen Faktoren in Massensterben von Fische.) A H<sub>2</sub>S-képződés és a klimatikus tényezők szerepe a tömeges halpusztulásban. (Ungarisch) Hidrológiai Közöny 4 343—348 (1961).
- (14) VÁMOS, R.: Brusone disease of rice in Hungary. Plant and Soil. 11 65—77 (196).